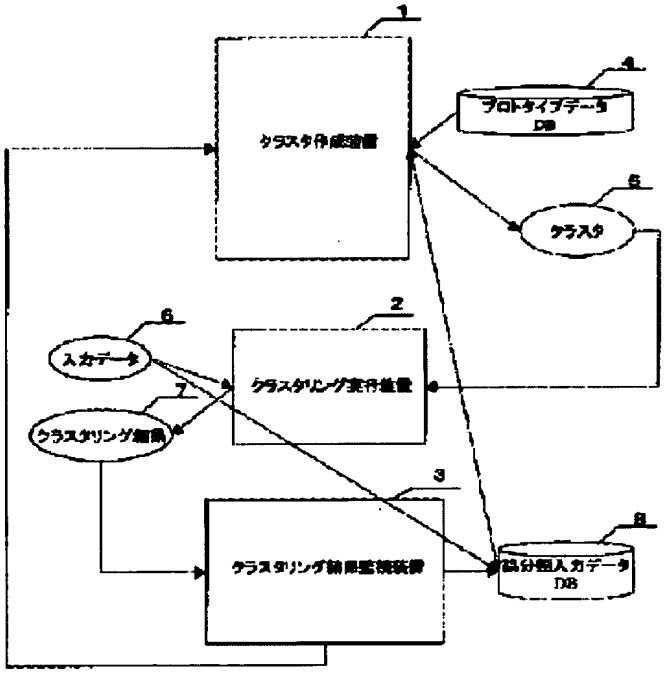
CLUSTERING DEVICE

Patent number:	JP2001283184
Publication date:	2001-10-12
Inventor:	NAKAMITSU HIROAKI
Applicant:	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
Classification:	
- international:	G06N3/00; G06F9/44; G06F17/30
- european:	
Application number:	JP20000091863 20000329
Priority number(s):	

Abstract of **JP2001283184**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a clustering device capable of coping with the dynamic change of data in clustering in a simple constitution and procedure.
SOLUTION: This clustering device for classifying input data by using a cluster is provided with a cluster preparing device 1 for preparing a cluster, a clustering performing device 2 for performing the clustering of the input data by using the cluster prepared by the cluster preparing device, a clustering result monitoring device 3 for monitoring the clustering result of the clustering performing device, and for identifying the erroneously classified input data, and a storage means 8 for storing the erroneously classified input data. When the fixed number of data or more are stored in the storage means, a new cluster is prepared by the cluster preparing device based on the data. Thus, it is possible to correct the cluster corresponding to the dynamic change of the input data, and to reduce the erroneous classification.



Japanese Unexamined Patent Publication No. 2001-283184

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12)**公開特許公報**（Ａ）　(11)特許出願公開番号
特開2001－283184
（P2001－283184A）
(43)公開日　平成13年10月12日(2001.10.12)

(51)Int.Cl.[7]	識別記号	ＦＩ		テーマコード（参考）
Ｇ０６Ｎ　3/00	５６０	Ｇ０６Ｎ	3/00	５６０Ａ　５Ｂ０７５
Ｇ０６Ｆ　9/44	５８０	Ｇ０６Ｆ	9/44	５８０Ａ
17/30	２１０		17/30	２１０Ｄ

審査請求　未請求　請求項の数５　ＯＬ　（全　７　頁）

(21)出願番号　特願2000－91863(P2000－91863)

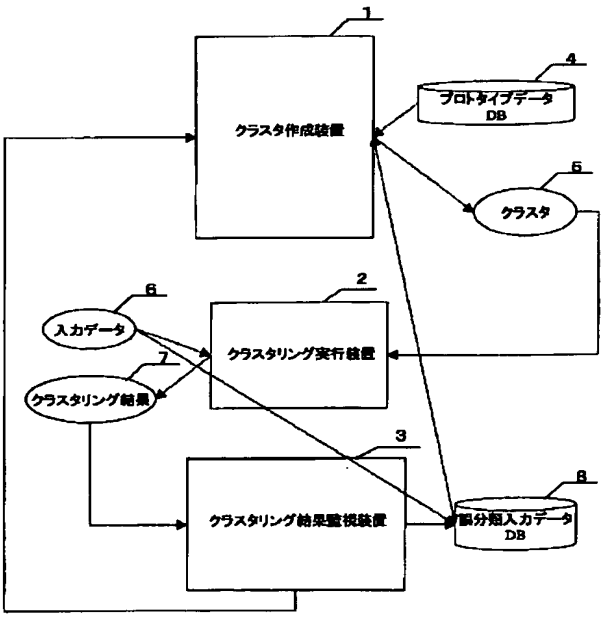
(22)出願日　平成12年３月29日(2000.3.29)

(71)出願人　000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72)発明者　仲光　廣晃
大阪府門真市大字門真1006番地　松下電器産業株式会社内
(74)代理人　100099254
弁理士　役　昌明　（外３名）

Ｆターム(参考)　5B075 NR12

(54)【発明の名称】　クラスタリング装置

(57)【要約】
【課題】　簡単な構成と手順で、クラスタリングにおけるデータの動的変化に対応することができるクラスタリング装置を提供する。
【解決手段】　入力データを、クラスタを用いて分類するクラスタリング装置において、クラスタを作成するクラスタ作成装置１と、クラスタ作成装置により作成されたクラスタを用いて、入力データのクラスタリングを実行するクラスタリング実行装置２と、クラスタリング実行装置のクラスタリング結果を監視して誤分類された入力データを識別するクラスタリング結果監視装置３と、誤分類された入力データを蓄積する蓄積手段８とを設け、蓄積手段に一定数以上のデータが蓄積された場合に、このデータを基に、クラスタ作成装置が新たなクラスタを作成するように構成している。入力データの動的変化に対応してクラスタを修正し、誤分類を抑えることができる。



【特許請求の範囲】
【請求項１】　入力データを、クラスタを用いて分類するクラスタリング装置であって、
前記クラスタを作成するクラスタ作成装置と、
前記クラスタ作成装置により作成されたクラスタを用いて、入力データのクラスタリングを実行するクラスタリング実行装置と、
前記クラスタリング実行装置のクラスタリング結果を監視して誤分類された入力データを識別するクラスタリング結果監視装置と、
誤分類された前記入力データを蓄積する蓄積手段とを備え、
前記蓄積手段に一定数以上のデータが蓄積された場合に、前記データを基に、前記クラスタ作成装置が新たなクラスタを作成することを特徴とするクラスタリング装置。
【請求項２】　前記クラスタ作成装置は、前記蓄積手段に一定数以上のデータが蓄積された場合に、前記データを用いて新たなクラスタを自動的に作成し、既に作成したクラスタに追加することを特徴とする請求項１に記載のクラスタリング装置。
【請求項３】　前記クラスタリング結果に、クラスタリングの誤差のデータが含まれることを特徴とする請求項１に記載のクラスタリング装置。
【請求項４】　前記クラスタ作成装置は、プロトタイプデータを入力として自己組織化マップを生成する自己組織化マップ生成手段と、生成された前記自己組織化マップを区分しクラスタを形成するクラスタ形成手段とを備えることを特徴とする請求項１に記載のクラスタリング装置。
【請求項５】　前記クラスタリング結果監視装置は、クラスタリング結果を監視するクラスタリング結果監視手段と、前記蓄積手段に一定数以上のデータが蓄積された場合に、前記データを入力として自己組織化マップを生成する自己組織化マップ修正手段とを備え、前記クラスタ作成装置のクラスタ形成手段は、前記自己組織化マップ修正手段が自己組織化マップを生成した場合、その自己組織化マップを区分してクラスタを作成し、既に作成したクラスタに追加することを特徴とする請求項４に記載のクラスタリング装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】本発明は、多数のデータをその類似性からクラスに分類するクラスタリング装置に関し、特に、入力データの動的変化に適切に対応できるようにしたものである。
【０００２】
【従来の技術】従来、クラスタリング手法として、さまざまなものが提案されている。図６には、最も一般的なクラスタリング装置の例を示している。
【０００３】ここで、100は学習のためのプロトタイプデータ群を示し、102、103は、プロトタイプデータ群の個々のデータを初期クラスタとみなしたクラスタＡ、クラスタＢを示し、104は、クラスタＡ102とクラスタＢ103との距離を示し、105はクラスタＡ102とクラスタＢ103とを統合したクラスタＣを示す。200は、プロトタイプデータから作成されたクラスタ結果を示し、201、202は最終的に作成されたクラスタＹ、クラスタＺを示す。300は、クラスタを用いたクラスタリング装置を示し、301は201とまったく同型のクラスタＹ、302は202とまったく同型のクラスタＺを示し、303は、クラスタリングの対象である入力Ｘを示し、304はクラスタが存在する空間上の入力Ｘ303のポイントを示す。
【０００４】この装置では、まず、クラスタリング装置に必要なクラスタを作成する。これは以下の作業により求められる。
【０００５】学習のためのプロトタイプデータ群100から、最も距離の近いクラスタを探し、その結果、クラスタＡ102とクラスタＢ103とが選ばれたとすると、この２つを統合してクラスタＣ105とし、クラスタＡ、Ｂは削除する。この時クラスタＣ105は、クラスタＡ102とクラスタＢ103との値を両方ともを持つ。次に、また同様にプロトタイプデータ群100から、最も距離の近いクラスタを探し、それらを統合する、という一連の作業を繰り返す。この時、全クラスタ数が１になった場合や、最も距離の近いクラスタ同士の距離が、ある一定値より大きかった場合は、作業を終了する。
【０００６】この一連の作業により、プロトタイプデータから作成されたクラスタ結果200が求められ、最終的に統合されたクラスタがクラスタＹ201、クラスタＺ202となる。
【０００７】これら最終的に統合されたクラスタを用い、実際のクラスタリングを行うのがクラスタを用いたクラスタリング装置300である。このクラスタを用いたクラスタリング装置300に入力Ｘ303が入力された時、入力Ｘ303がクラスタＹ301内に含まれる時、入力Ｘ303は、クラスタＹ301にクラスタリングされたという結果となる。
【０００８】また、クラスタリングに自己組織化マップ（ＳＯＭ：Self-Oraganization Map、詳しくは、T.Kohonen,"Self-Oraganization and Associative Memory",ThirdEdition, Springer-Verlag, Berlin, 1989に記載されている。）と呼ばれるニューラルネットワークを用いる手法も知られている（特開平７－２３４８５３号）。この方法では、プロトタイプデータをＳＯＭに入力して、ＳＯＭを形成するニューロンを学習し、学習したニューロンをクラスタに分類する。クラスタが形成された後、ＳＯＭに入力データを与えると、その入力に近い値を持つニューロンが決定され、入力データがクラスタリングされる。

【０００９】
【発明が解決しようとする課題】しかし、前述のようなクラスタリング手法では、プロトタイプデータを用いてクラスタを形成しているので、プロトタイプデータにのみ偏ったクラスタが形成される。そのため、実際にこれらのクラスタを用いて実データのクラスタリングを行った時、入力データの動的な変化に対応できない、と云う問題点がある。
【００１０】つまり、新たなクラスに属すべきデータが、時間の経過とともに生じた場合などに、従来の方法では、全く対応ができず、いずれかのクラスタに誤分類されることになる。
【００１１】この誤分類を防ぐためには、従来の方式では、プロトタイプデータも含めて、すべてのデータを用いてクラスタリングし直す必要があり、大きな作業負担が強いられる。データを新たに追加した場合にクラスタの修正を行う方法が、特開平５－２０５０５８号に開示されているが、これは、新たなデータを追加したことが既知でなければならず、かつ外部からデータの追加によるクラスタの修正を実行することを知らせる必要があり、追加するデータを自動的に集めたり、クラスタを自動的に修正することはできない。
【００１２】本発明は、こうした従来の問題点を解決するものであり、簡単な構成と手順で、クラスタリングにおけるデータの動的変化に対応することができるクラスタリング装置を提供することを目的としている。
【００１３】
【課題を解決するための手段】そこで、本発明では、入力データを、クラスタを用いて分類するクラスタリング装置において、クラスタを作成するクラスタ作成装置と、クラスタ作成装置により作成されたクラスタを用いて、入力データのクラスタリングを実行するクラスタリング実行装置と、クラスタリング実行装置のクラスタリング結果を監視して誤分類された入力データを識別するクラスタリング結果監視装置と、誤分類された入力データを蓄積する蓄積手段とを設け、蓄積手段に一定数以上のデータが蓄積された場合に、このデータを基に、クラスタ作成装置が新たなクラスタを作成するように構成している。
【００１４】そのため、入力データの動的変化に対応してクラスタを修正し、誤分類を抑えることができる。
【００１５】
【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。なお、本発明はこれら実施の形態に何等限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々なる態様で実施し得る。
【００１６】（第１の実施形態）第１の実施形態のクラスタリング装置は、図１に示すように、プロトタイプデータを管理するプロトタイプデータＤＢ４と、プロトタイプデータを用いてクラスタ５を作成するクラスタ作成装置１と、作成されたクラスタ５を用いて入力データ６をクラスタリングするクラスタリング実行装置２と、クラスタリング実行装置２のクラスタリング結果７を監視するクラスタリング結果監視装置３と、クラスタリング結果監視装置３によって誤分類と判断されたデータを管理する誤分類入力データＤＢ８とを備えている。
【００１７】この装置では、クラスタ作成装置１が、プロトタイプデータＤＢ４を用いてクラスタ５を生成する。クラスタリング実行装置２は、生成されたクラスタ５を用いて、入力された入力データ６をクラスタリングし、クラスタリング結果７を出力する。クラスタリング結果監視装置３は、出力されたクラスタリング結果７を監視し、入力データ６のクラスタリング結果７に含まれる誤差が、ある一定値以上の値であり、明らかに誤分類であると判断した時、その入力データ６を誤分類入力データＤＢ８に追加し、誤分類入力データＤＢ８に溜まったデータの数をカウントする。この誤分類入力データＤＢ８内のデータがある一定数を超えた時、クラスタ作成装置１に、この誤分類入力データＤＢ８を用いて、クラスタを作成するように指示する。
【００１８】各装置の動作をさらに詳しく説明する。まず、クラスタ作成装置１は、クラスタ５が作成されていない時と、クラスタリング結果監視装置３からクラスタの作成を指示された時に動作する。
【００１９】クラスタ５が作成されていない時は、プロトタイプデータＤＢ４内のプロトタイプデータ群の個々のデータを初期クラスタと見なし、その中から、最も距離の近いクラスタを探す。この距離は図５の式１によって求める。この時求められた２つのクラスタを統合し新たなクラスタとする。統合されたクラスタは削除し、また新たに作られたクラスタは、統合により削除されたクラスタの値をすべて持つ。同様にまたプロトタイプデータＤＢから、最も距離の近いクラスタを探し、それらを統合する、という一連の作業を繰り返す。この時、全クラスタ数が１になった場合や、最も距離の近いクラスタ同士の距離が、ある一定値より大きかった場合は、作業を終了する。
【００２０】この一連の作業により、プロトタイプデータ４から作成されたクラスタ５を作成する。
【００２１】次に、クラスタリング結果監視装置３からクラスタ作成の指示を受けた時は、誤分類入力データＤＢ８を用い、クラスタ５を作成するのと同じ動作で、クラスタを作成する。この時、作成されたクラスタで、クラスタ内に含まれる値の数が一定以上のものを新たなクラスタとしてクラスタ５に加える。最後に、誤分類入力データＤＢをクリアする。
【００２２】次に、クラスタリング実行装置２の動作について説明する。クラスタ作成装置１により作成されたクラスタ５を用いて、入力された入力データ６と、距離の最も近いクラスタを選択する。この距離の計算は、図

５の式１によって求める。この時、選択されたクラスタと、誤差を表す、計算された距離とをクラスタリング結果７として出力する。

【００２３】クラスタリング結果監視装置３は、出力されたクラスタリング結果７に含まれる誤差、即ち、計算された距離が、ある一定値以上の値である時、誤分類入力データＤＢ８に入力データ６を追加しその数をカウントし、この誤分類入力データＤＢ８内のデータがある一定数を超えた時、クラスタ作成装置１にこの誤分類入力データＤＢ８を用いて、クラスタを作成するように指示する。

【００２４】以上のように、この実施形態のクラスタリング装置では、稼動中にもクラスタの自動作成が可能であり、入力データの動的な変化に対応して自動的にクラスタを作成することができる。そのため、入力データの動的な変化に起因する誤分類の発生が迅速に抑えられる。また、この装置では、クラスタの再作成が、実データのクラスタリングの過程で誤分類データとして自動収集されたデータのみを用いて行われるため、少ない負担でクラスタの修正を実行することができる。

【００２５】（第２の実施形態）第２の実施形態のクラスタリング装置は、自己組織化マップ（以下、ＳＯＭと云う）を利用してクラスタを作成する。

【００２６】この装置は、図２に示すように、第１の実施形態と同様、プロトタイプデータＤＢ４、クラスタ作成装置１、クラスタリング実行装置２、クラスタリング結果監視装置３及び誤分類入力データＤＢ８から成り、クラスタ作成装置１は、プロトタイプデータを入力するデータ入力手段11と、ＳＯＭ９を作成するＳＯＭ作成手段12と、ＳＯＭ９を用いてクラスタを生成するクラスタ生成手段13とを備え、また、クラスタリング結果監視装置３は、クラスタリング実行装置２のクラスタリング結果７を監視するクラスタリング結果監視手段31と、誤分類入力データＤＢ８のデータを用いてＳＯＭ10を作成するＳＯＭ修正手段32とを備えている。

【００２７】この装置では、クラスタ作成装置１のデータ入力手段11がプロトタイプデータＤＢ４からデータを入力し、このデータを用いてＳＯＭ作成手段12がＳＯＭ９を作成し、クラスタ生成手段13が、ＳＯＭ９を用いてクラスタ５を生成する。クラスタリング実行装置２は、生成されたクラスタ５を用いて入力された入力データ６をクラスタリングし、クラスタリング結果７を出力する。クラスタリング結果監視装置３のクラスタリング結果監視手段31は、出力されたクラスタリング結果７に含まれる誤差が、ある一定値以上の値であり、明らかに誤分類であると判断した時、誤分類入力データＤＢ８に入力データ６を追加し、その数をカウントする。

【００２８】誤分類入力データＤＢ８内のデータがある一定数を超えた時、ＳＯＭ修正手段32は、誤分類入力データＤＢ８のデータを入力として新たなＳＯＭ10を作成し、クラスタ作成手段13にＳＯＭ10を用いたクラスタ作成を指示する。これを受けて、クラスタ作成手段13は、ＳＯＭ10を用いてクラスタを作成し、既に作成されているクラスタ５に追加する。

【００２９】次に、各部の動作についてさらに詳しく説明する。まず、ＳＯＭ作成手段12の動作について説明する。

【００３０】ＳＯＭは、図４に示すように、２次元上に配置されたニューロン402から形成され、各ニューロンは、参照ベクトル403と呼ばれる入力と同じ次元のベクトルを持つ。

【００３１】ＳＯＭ作成手段12は、図３のフローチャートに示す手順でＳＯＭを作成する。

ステップＡ１：学習回数Ｔを０にセットし、

ステップＡ２：図４のように２次元上に配置したニューロンを作成し、各ニューロンに対し、入力と同じ次元の参照ベクトルを乱数で与える。

【００３２】ステップＡ３：データ入力手段11がプロトタイプデータＤＢ４からランダムでデータを一つ取り出す。

【００３３】ステップＡ４：このデータに対して、図５の式（２）を満たす参照ベクトルを持つニューロンＣを決定する。

【００３４】ステップＡ５：ニューロンＣの近傍に位置するニューロンの参照ベクトルを、図５の式（３）に従って更新する。

【００３５】ステップＡ６：学習回数Ｔが規定した回数に達した場合には、

ステップＡ８：終了する。

【００３６】ステップＡ６において、学習回数Ｔが規定回数に達していない場合には、

ステップＡ７：学習回数Ｔの値を一つ増やし、ステップＡ２に戻る。

【００３７】次に、クラスタ生成手段13は、クラスタ５が作成されていない時と、ＳＯＭ修正手段32からクラスタの作成の指示を受けた時に動作する。

【００３８】まず、クラスタ５が作成されていない時、ＳＯＭ９を用いてクラスタ５を作成する。ＳＯＭ９の各ニューロンに対し、図５の式（４）を満たす参照ベクトルを持つニューロンを選択し、選択されたニューロンを初期クラスタと見なす。その中から、最も距離の近いクラスタを探す。この距離は図５の式（１）によって求める。この時求められた２つのクラスタを統合し新たなクラスタとする。統合されたクラスタは削除し、また新たに作られたクラスタは、統合により削除されたクラスタの値をすべて持つ。同様にまた、最も距離の近いクラスタを探し、それらを統合する、という一連の作業を繰り返す。この時、全クラスタ数が１になった場合や、最も距離の近いクラスタ同士の距離が、ある一定値より大きかった場合は、作業を終了する。

【００３９】また、ＳＯＭ修正手段32からクラスタの作成の伝達を受けた時も同様に、ＳＯＭ10を用いてクラスタを作成し、クラスタ５に追加をする。

【００４０】クラスタリング実行装置２は、第１の実施形態と同様、クラスタ５を用いて入力データ６をクラスタリングし、クラスタリング結果７を出力する。クラスタリング結果監視手段31は、出力されたクラスタリング結果７に含まれる誤差が、ある一定値以上の値であり、明らかに誤分類であると判断した時、誤分類入力データＤＢ８に入力データ６を追加し、その数をカウントする。

【００４１】この誤分類入力データＤＢ８内のデータがある一定数を超えた時、ＳＯＭ修正手段32は、誤分類入力データＤＢ８のデータを入力として、図３のフローチャートに従って、マップの大きさがＳＯＭ９の縦または横のニューロンの数と等しい、小さいＳＯＭ10を作成する。そして、誤分類入力データＤＢ８をクリアし、クラスタ作成手段13にクラスタの作成を指示する。クラスタ作成手段13は、前述するように、ＳＯＭ10を用いてクラスタを作成し、作成済みのクラスタ５に追加する。

【００４２】以上のように、この実施形態のクラスタリング装置では、ＳＯＭを用いてクラスタリングを行っているため、既存のＳＯＭをそのまま適用することができ、さらに新たにクラスタを作成する際に非常に小さいＳＯＭを用いるので処理速度も高く、その実用的効果は大きい。また、この新たなクラスタの作成には、実データのクラスタリングの過程で誤分類データとして自動収集されたものが使用されるため、この新たなクラスタの作成により、入力データの動的な変化に対応することができる。

【００４３】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明のクラスタリング装置は、入力データの動的な変化に対応して、新たなクラスタを速やかに作成することができ、入力データの動的な変化に起因する誤分類の発生を抑えることが可能である。

【００４４】また、この新たなクラスタの作成は、クラスタリングを実行したときに、誤分類データとして自動収集されたデータだけを用いて行われるため、その作成負担は少なくて済む。

【００４５】また、誤分類されたデータからクラスタを直接作成する手段を持つ装置では、装置稼動中にもクラスタを自動で作成することが可能であり、入力データの動的な変化に素早く対応できるという有利な効果が得られる。

【００４６】また、ＳＯＭを用いてクラスタリングする装置では、既存のＳＯＭをそのまま適用することができ、また、新たにクラスタを作成する際には非常に小さいＳＯＭを用いるので処理速度も高いという有効な効果が得られる。

【００４７】このことにより、本発明は、入力データが時間的に変化するものをクラスタリングする装置に適用して効果を発揮することができ、例えば、時間的に変化する生徒の学習結果を入力データとして生徒を分類する学習システムのクラスタリング装置や、インターネットのホームページにアクセスする視聴者の嗜好性を調査するクラスタリング装置などに用いた場合に、極めて有効である。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１の実施形態におけるクラスタリング装置の構成を表すブロック図、

【図２】本発明の第２の実施形態におけるクラスタリング装置の構成を示すブロック図、

【図３】第２の実施形態においてＳＯＭ作成の手順を示すフローチャート、

【図４】ＳＯＭを視覚的に示す図、

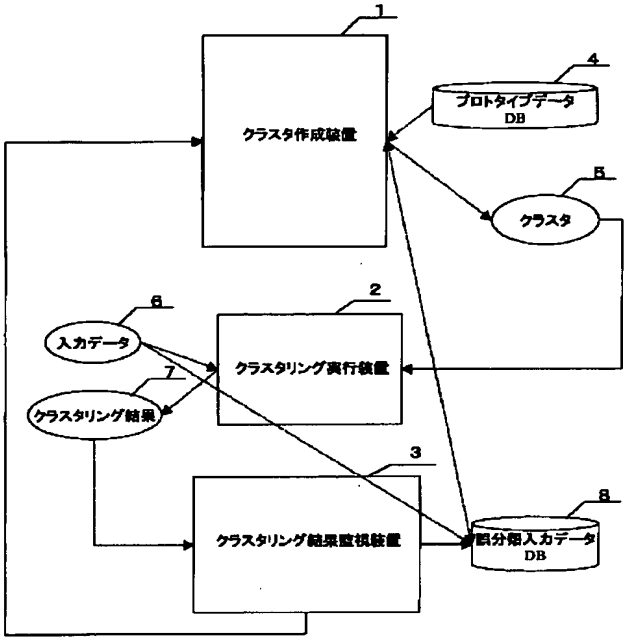
【図５】数式を示す図、

【図６】従来のクラスタリング装置の一例を示す図である。

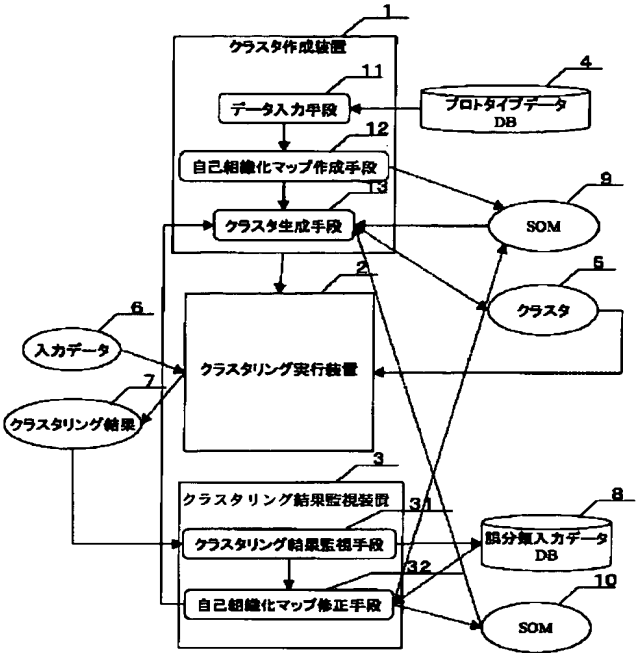
【符号の説明】

１　クラスタ作成装置
２　クラスタリング実行装置
３　クラスタリング結果監視装置
４　プロトタイプデータＤＢ
５　クラスタ
６　入力データ
７　クラスタリング結果
８　誤分類入力データＤＢ
９、10　ＳＯＭ
11　データ入力手段
12　ＳＯＭ作成手段
13　クラスタ生成手段
31　クラスタリング結果監視手段
32　ＳＯＭ修正手段
100　プロトタイプデータ群
102　クラスタＡ
103　クラスタＢ
104　距離
105　クラスタＣ
200　プロトタイプデータから作成されたクラスタ結果
201　クラスタＹ
202　クラスタＺ
300　クラスタを用いたクラスタリング装置
301　クラスタＹ
302　クラスタＺ
303　入力Ｘ
304　入力Ｘのポイント
401　ＳＯＭ
402　ニューロン
403　参照ベクトル

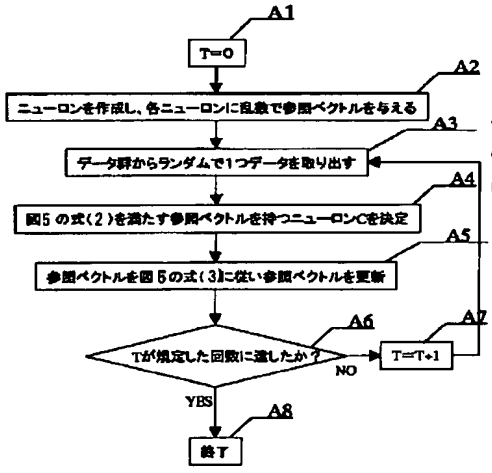
【図１】


1
クラスタ作成装置
4
プロトタイプデータ
DB
5
クラスタ
6
入力データ
2
クラスタリング実行装置
7
クラスタリング結果
3
クラスタリング結果監視装置
8
誤分類入力データ
DB

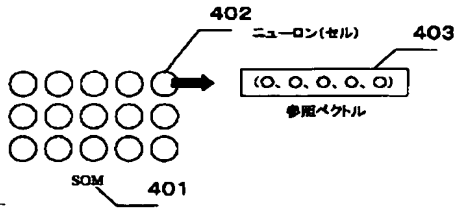
【図２】


1
クラスタ作成装置
11
データ入力手段
4
プロトタイプデータ
DB
12
自己組織化マップ作成手段
13
クラスタ生成手段
9
SOM
2
6
クラスタ
6
入力データ
クラスタリング実行装置
7
クラスタリング結果
3
クラスタリング結果監視装置
31
8
クラスタリング結果監視手段
誤分類入力データ
DB
32
10
自己組織化マップ修正手段
SOM

【図３】


A1
T=0
A2
ニューロンを作成し、各ニューロンに乱数で参照ベクトルを与える
A3
データ群からランダムで1つデータを取り出す
A4
図5の式(2)を満たす参照ベクトルを持つニューロンCを決定
A5
参照ベクトルを図5の式(3)に従い参照ベクトルを更新
A6
Tが規定した回数に達したか？
NO
A7
T=T+1
YES
A8
終了

【図４】


402
ニューロン(セル)
403
(O、O、O、O、O)
参照ベクトル
SOM
401

【図５】

N次元のデータX,Yの距離D　$D = \sqrt{\sum_{i=0}^{N}(x_i - y_i)}$　(1)

$C = \arg_i \|x - m_i\|$　(2)

i:ニューロン番号
X:入力データ
m_i:ニューロンiの参照ベクトル
$\|\cdot\|$:式(1)によって求められる距離

$$m_i = \begin{cases} m_i + h_{ci}(t)[x(t) - m_i(t)] & i \in N_c \\ m_j & i \notin N_c \end{cases} \quad (3)$$

$$h_{ci} = \alpha(t) \cdot \exp\left[\frac{\|r_c - r_i\|^2}{2\sigma^2(t)}\right]$$

N_c:ニューロンCの近傍に位置するニューロン
i:ニューロン番号
α:学習係数:0＜α＜1(時間とともに減少)
σ:近傍幅(時間とともに減少)
$\|\cdot\|$:式(1)によって求められる距離
r_c:2次元マップ上のニューロCの位置ベクトル
r_i:2次元マップ上のニューロiの位置ベクトル

$$d_i < \min_{j \in N_i} d_j \quad (4)$$

$$d_i = \frac{1}{|N_i|}\sum_{j \in N_i}\|m_i - m_j\|$$

N_i:ニューロンiの4近傍中に存在するニューロンの集合
m_i:ニューロンiの参照ベクトル
m_j:ニューロンjの参照ベクトル
$\|\cdot\|$:式(1)によって求められる距離

【図６】